

УДК 621.186.6

МЕТОДИКА РАСЧЁТА РАСШИРИТЕЛЯ – СЕПАРАТОРА
METHOD OF CALCULATING THE EXPANDER-SEPARATOR

А.Ю. Апанасевич, В.А. Вирко

Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

aidarova@bntu.by

A. Apanasevich, V. Virko

Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: расчет расширителя-сепаратора

Abstract: expander-separator calculation

Ключевые слова: расширитель-сепаратор, жалюзи сепаратора, конструктивные характеристики, завихритель, расход, монограмма, пропускная способность.

Keywords: expander-separator, separator louvers, desing characteristics, swirler, flow rate, monogram, throughput.

Введение

Одним из важных элементов современных систем охлаждения ЧНД ТПТУ является расширитель-сепаратор, предназначенный для получения охлаждающего пара, близкого к параметрам насыщения. Также пар не должен иметь капельной влаги.

Основная часть

Основное внимание при отработке конструкции РС уделяется качеству приготавливаемого пара, количество которого 1.4 кг/с определяется исходя из потребностей охлаждения двух последних ступеней ЧНД турбины ПТ-60-130/13. По условию эрозионнобезопасной работы ступеней ЧНД в паре за РС не должна присутствовать визуально наблюдаемая влага. Это условие определено как эрозионнобезопасный уровень [1...4]. Эффект сепарации влаги определяется уровнем скоростей и давлений пара в РС [5,6]. Дополнительные гарантии по качеству пара, кроме того, обеспечиваются дросселированием его непосредственно у охлаждаемой ступени на щели коллектора.

Расчет жалюзийного сепаратора РС выполнялся в соответствии с рекомендациями ЦКТИ [5,6], в соответствии с которыми критическая по выносу капельной влаги скорость может быть определена как

$$C_{кр} = \frac{K \cdot \sqrt[4]{g \cdot \sigma \cdot (\rho' - \rho'')}}{\sqrt{\rho''}}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкой фазы, Н/м³;

ρ' и ρ'' – соответственно, плотность жидкой и паровой фаз, кг/м³.

Коэффициент K зависит от степени сухости пара на входе в жалюзи сепаратора и его конструктивных характеристик:

$$- K = (2,3 \div 1,69) * \left(\frac{1-X}{X}\right)^{0,56} * \left(\frac{h*t}{b}\right)^{0,25} * \frac{1}{\cos\alpha}, \quad (2)$$

где X – степень сухости пара на входе в жалюзи сепаратора;

h, t, b – соответственно, высота, шаг и ширина пакета жалюзей, м;

α – половина угла поворота потока в жалюзи.

Основные конструктивные характеристики жалюзийного сепаратора нашего РС составляют: $h = 0,6$ м; $t = 0,01$ м; $b = 0,08$ м; $\alpha = 50^\circ$. Состояние пара для расчетного режима определено как: $\sigma = 70 * 10^3$ м; $\rho' = 993,64 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ м; $\rho'' = 0,04212 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Диапазон степени сухости пара перед жалюзийным сепаратором от 60% до 95%. Результаты расчета характеристик жалюзийного сепаратора для расчетного режима сведены в табл. 1

Таблица 1 – Основные характеристики жалюзийного сепаратора

Определяемый параметр	Степень сухости пара на входе					
	0,95	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6
Коэффициент K	1,42	1,386	0,929	0,505	0,281	0,061
Критическая скорость пара	40,1	34,6	23,2	12,6	7,0	1,5

Результаты расчетов жалюзийного сепаратора (ЖС) и расчетный расход пара СО лежат в основе расчета диаметра трубопровода подвода пара к ЖС, в нашем случае он равен диаметру РС. По результатам расчета ЖС и РС в широком диапазоне режимов работы построена номограмма, позволяющая определять основной конструктивный размер РС – диаметр для любых исходных степеней сухости пара и уровней его скоростей на входе в сепаратор. Оценка сепарирующей способности камеры гравитационной сепарации РС на входе в ЖС выполнялась по методике [5,6]. На расчетном режиме ЖС способен достичь капли диаметром в 1,6 мм. Это соответствует влажности пара перед ним 15 % при нормальном законе распределения капель по фракциям. На рис. 1 показан пример пользования номограммой. Следует отметить важный вывод: при влажности пара перед ЖС более 20% диаметр корпуса РС резко возрастает. В нашем случае, с запасом достаточно диаметра РС в 1.2 м, что и заложено в его конструкцию. Для выбора диаметра и количества отверстий в перфорированной обечайке отвода водяной фазы потока была поставлена серия опытов по экспериментальному определению зависимости коэффициента расхода одиночного отверстия от гидростатического напора жидкости. При диаметре отверстия 6 мм и напоре 1 м вод. ст. расчетный расход через отверстия в 1.4 кг/с требует выполнения 65 штук таких отверстий. В конструкции перфорированной обечайки из выполнено 105 штук. Испытания РС подтвердили правильность такого выбора.

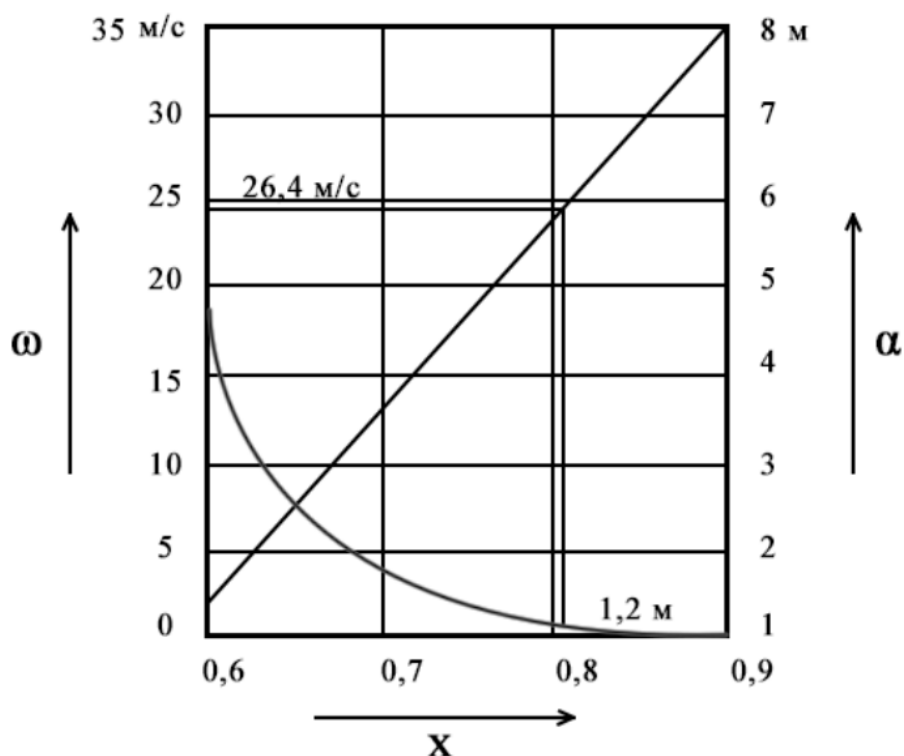


Рисунок 1 - Номограмма и пример расчета расширителя-сепаратора

Входной завихритель проверялся на пропускную способность из расчета возможного критического режима истечения в нём. Скорость водяной фазы при этом составит:

$$C_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho'} + \frac{C_0^2}{2}}, \quad (3)$$

где Δp — перепад давления на завихрителе;

ρ' — плотность водяной фазы;

C_0 — входная скорость, в нашем случае её величина в подводящем трубопроводе не превышает 1 м/с и ею можно пренебречь. Запирание по расходу среды возможно только по паровой фазе, поэтому объёмный пропуск её за завихрителем составит:

$$Q_n = D \cdot v'', \quad (4)$$

где D — массовый расход среды;

v'' — удельный объём паровой фазы.

Максимально возможная скорость пара за завихрителем

$$C_n = \frac{Q_n}{F_n}, \quad (5)$$

где F — скорость пара в выходном сечении перфорированной обечайки составит живое сечение завихрителя. С учётом загромождения его лопатками

$$C_n'' = \frac{C_n}{0,85}, \quad (6)$$

Местная скорость звука в потоке пара за завихрителем

$$a = \sqrt{k * p * v}, \quad (7)$$

Заключение

Расчёты по данным выражениям показали, что ни в одном из сечений РС не может возникнуть критический режим истечения, что получило экспериментальное подтверждение. Это имеет большое значение, так как критический режим переносится на задвижку подачи перегретого конденсата в РС, следовательно, меняя степень её открытия удобно влиять на весь тракт за ней. Тем самым, фактически обеспечивается работа всей СО в режиме авторегулирования. На практике это означает, что не требуется установка каких-либо регулировочных устройств в СО, так как она саморегулируема. Последнее оценивается как существенное достоинство схемы, именно, этого не хватает всем СО ПО ТМЗ. К установке принят завихритель с наружным диаметром 400 мм, диаметром втулки 150 мм, числом лопастей 8 штук, углом их установки относительно горизонта 30° при вертикальной компоновке РС.

Литература

1. Фаддеев И.П., Боровков В.М. Эрозия рабочих лопаток ЧВД паровых турбин на частичных нагрузках / Боровков В.М., Фаддеев И.П., Иванов В.А. и др.// Изв. Вузов СССР. Энергетика.-1973. - № 4.- С.128-129.
2. Оценка разгона эрозионно опасной капельной влаги в осевом зазоре на частичных нагрузках / Боровков В.М., Фаддеев И.П., Иванов В.А. и др.// Изв. Вузов СССР. Энергетика.-1985. - № 7.- С.37-42.
3. Фаддеев И.П. Эрозия влажнопаровых турбин. Л.:Машиностроение.-1974.-280с.
4. Явельский М.Б., Шилин Ю.П. Эрозия выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин и мероприятия по ее устранению//Энергомашиностроение.-1961.-№10.-С. 11-15.
5. Осипов А.М., Сидоров В.В.,Хорзеев Ю.И. Создание и исследование сепараторов предварительного разделения пароводяной смеси для вертикального парогенератора ПГВ-250//Сб.научн. тр.-1982.-п.199.- С. 47-53.
6. Демидова Л.В., Сорокин Ю.Л.,Допустимые скорости пара и газа для вертикальных и наклонных жалюзийных сепараторов // Энергомашиностроение.-1972.-№3.-С.44.